

Bioindicadores

Indicadores Biológicos

- ¿Qué son los indicadores biológicos?
- Son **atributos** de los sistemas biológicos que se emplean para **descifrar factores de su ambiente**.
- ¿Cómo ha sido la evolución en el uso de Bioindicadores?
 - Especies o asociaciones de éstas como indicadores
 - Atributos correspondientes a otros niveles de organización del ecosistema (poblaciones, comunidades, etc.), lo que resultó particularmente útil en estudios de contaminación.

(Alba Puig - Jefa del área Ecología del MACN CONICET Bernardino Rivadavia)

Sensibilidad de organismos a su medio o ambiente

- Cambios: (en el Bioindicador)
 - Aspecto
 - Forma
 - **Desaparición**
 - **Prosperan** cuando su medio se contamina
- Caso hipotético (cuerpo de agua con descarga orgánica)
- Presencia de Indicadores (sensibilidad a la polución orgánica)
 - Spp Intolerantes
 - Facultativas
 - Tolerantes

Indicadores de contaminación por desechos industriales (Bioindicadores)

- “generalmente” son resistentes a:
 - Falta total o parcial de oxígeno
 - Baja intensidad de luz, etc.
- Monitoreos biológicos (utilidad)
 - La acumulación (**sensibilidad**) de metales pesados en organismos acuáticos puede ser 10 millones de veces mayor a la del ambiente donde viven.

¿Qué requiere el uso de Bioindicadores?

- Conocer las “tolerancias ecológicas”.
- Los requerimientos de las especies (seleccionadas como Bioindicadoras)
- Sus adaptaciones (resistencias a contaminantes crónicos y agudos)
- Realización de estudios “autoecológicos y sinecológicos”
 - (laboratorio) establecer los límites de tolerancia de una especie a una sustancia o a una mezcla de ellas mediante ensayos de toxicidad.
 - “observación y análisis” de las características ambientales de los sitios en los cuales se detectan con más frecuencia poblaciones de organismos (algas, bacterias, protozoos, macroinvertebrados y peces)

Bioindicadores

Tipos de estudios

- Estiman características estructurales a diferentes niveles de organización
 - Cambios en la estructura celular
 - Cambios en la diversidad de especies
- Últimamente se han incluido:
 - Características funcionales (producción y respiración)

Estudio de las especies indicadoras de niveles de calidad de agua

- Son más inmediatos
- Requieren un profundo conocimiento para identificar los organismos
- Sólo son adecuados para las condiciones ecológicas y características regionales
- Los estudios de estructura de comunidades, si bien requieren su interpretación ecológica (demandando más tiempo), son independientes de las características geográficas regionales y tienen aplicabilidad aún con informaciones sistemáticas y ecológicas deficientes.

En las evaluaciones de riesgo ecológico se ha propuesto el uso de:

1. Indicadores de conformidad
2. Diagnóstico
3. Tempranos “de daño”.

¿Qué es una evaluación de riesgo ecológico?

Evaluación del Riesgo Ecológico

- La evaluación del riesgo ecológico es el proceso científico para estimar la probabilidad de que ocurra un efecto ecológico adverso para la integridad de ecosistemas naturales *y los servicios que ellos proveen*, como resultado de la *exposición a estresantes* relacionados con la *actividad humana*.
- ¿Cómo caracterizamos la salud de un ecosistema?
 - *Mantenimiento de la biodiversidad y el funcionamiento de los patrones normales de flujo de energía entre niveles tróficos.*

Evaluación del Riesgo Ecológico “estrategias”

- Realización de ensayos en laboratorio (por ej. ensayos de toxicidad)
- El uso de modelos para predecir los efectos de diferentes contaminantes que puedan ser introducidos en el ambiente.
- La utilización de indicadores ecológicos presentes en ecosistemas naturales.
 - Necesidad de estudiar los efectos ambientales de las sustancias químicas u otros riesgos potenciales en el laboratorio antes de liberarlos en el ambiente (obvio).
 - La evaluación del riesgo ecológico es menos confiable si se basa sólo en ensayos de laboratorio. “Ambas estrategias deberían complementarse”

Programas de Monitoreo

“para proteger la integridad del sistema”

- Indicadores de conformidad (para investigar el grado en que se mantienen las *condiciones previamente establecidas como aceptables*)
- Indicadores de diagnóstico (para determinar la causa de desviaciones fuera de los límites de las *condiciones aceptables*)
- Indicadores tempranos de peligro (para señalar cambios inminentes en las condiciones ambientales, antes de que las condiciones inaceptables se presenten)

“condiciones inaceptables” (s/Indicadores de Conformidad)

- Se usan los indicadores de diagnóstico (identificar las causas y sugerir las acciones de corrección)
- A través de ensayos de laboratorio determinamos la causa.
- Para complementar a los indicadores de conformidad, se eligen indicadores tempranos de peligro, que señalan el deterioro inminente en las condiciones ambientales, de modo que puedan tomarse medidas preventivas para evitar llegar a condiciones inaceptables.
- Preferentemente, la identificación y diagnosis de un problema debería ocurrir suficientemente temprano como para que puedan tomarse acciones correctivas antes de que ocurra daño considerable, puesto que el objetivo de la evaluación del riesgo ecológico es proteger la integridad del ecosistema.

**Es preferible un aviso temprano del daño inminente,
a tener que remediar la situación más tarde.**

Uso de plantas superiores como Bioindicadoras de Metales Pesados y otras alternativas

- ¿Qué atributos tienen algunos vegetales superiores para ser considerados buenos bioindicadores en la detección de MP?
 - Biodisponibilidad
 - Biomagnificación
 - A nivel “medio” la cualidad de ser ***persistentes***
- Hg, Mn, V, Co, Cd, Mo, Pb, Zn, As, Fe, Ni, Cr (s/especie química y ***¿?*** será mayor o menor la toxicidad – *siempre un stress*)
- Algunas problemáticas entre los vegetales superiores y la detección de MP:
- Mayor complejidad por parte de los organismos bioindicadores
- Contaminantes no específicos (muy generalizado el funcionamiento de los MP sobre los bioindicadores) s/escala de estudio: será la orientación del trabajo

¿Por qué del uso de plantas superiores como bioindicadoras de MP?

- Usadas en áreas MUY contaminadas donde no crecen Líquenes ni Musgos.
- Deposición Atmosférica:
 - Tallos y Hojas
 - Respuesta de tipo específica. . .
- Bioacumulación Radical y Aérea:
 - Respuesta asociada. . .
 - Alta tolerancia con bajos efectos

Algunos determinantes de la Absorción y Biologización de MP en plantas superiores

- **Características del Suelo:**
 - pH
 - M.O.
 - Geología y Formación
 - Composición
- **Clima - Ambiente circundante**
- **Época del Año**
- **Características de la Planta:**
 - Especie
 - Ciclo Fisiológico
 - Órgano destino (y de análisis)
 - Edad
 - (Biologización asociada)
- **Especie del MP:**
 - Movilidad
 - (toxicidad asociada)

Altas concentraciones de MP en el suelo
no son proporcionales a
similares concentraciones
en la Planta.

Determinantes de la “deposición atmosférica” de Metales Pesados

- Tamaño de Partícula
- Peso específico del MP
- Velocidad y dirección del Viento
- Humedad del medio
- Orientación de la Hoja
- Tamaño de la Hoja
- Características de la Superficie (rugosidad)
- Absorción y Biologización del MP

Una vez depositado el MP en la planta



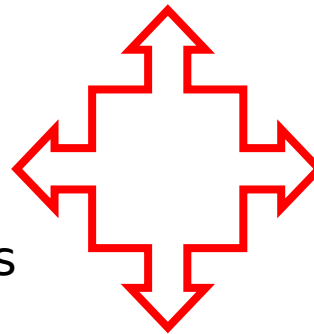
1. Lavarse por lluvia
2. Resuspenderse
3. Retención en follaje

Tipos de respuesta de las plantas a MP

- **de carácter:**
 - Morfológico
 - Fisiológico
 - Bioquímico
 - de Crecimiento

- Germinación
- Ramificación
- Formación de las Hojas
- Crecimiento Radicular
- Maduración de Flores y Frutos
- Fotosíntesis
- Transpiración
- Nutrición Mineral / Absorción
- Metabolismo Secundario

Idea Original!
Ensayos mas sencillos
que los análisis químicos
para detección de MP



Problemática!
Dificultad en la
interpretación de resultados
por posibilidad de efectos
Aditivos,
Sinérgicos o Antagónicos

Consecuencia!
Se puede limitar el uso
como Bioindicadores

Cualidades de un vegetal superior para ser Bioindicador. . . (Brooks 1998)

- Ciclo de vida largo.
- Alta tolerancia y sensibilidad.
- Alta biomasa para muestreo y análisis.
- Especie endémica del área.
- Fácil cultivo o alta abundancia.
- [MP] adecuada para detección analítica.
- Relación estadística entre [MP] de la planta y de su medio.

Algunas consideraciones para el Diseño del Monitoreo

- **Tipo de Especie**
 - Más sensibles
 - Más tolerantes
- **Lugar de Selección y Muestreo**
 - Tamaño del área
 - Distribución espacial de las especies
 - Posibilidad de exposición de plantas cultivadas en invernadero
- **Período del Muestreo**
 - Tomado en época similar para comparaciones anuales (menos variabilidad)
- **Método de Muestreo Estandarizado**
 - Nro. y tipo de órganos
 - Muestras de la misma especie
 - Similar altura de la toma
 - Edad del individuo
 - Condiciones ecofisiológicas

Árboles y matas
Plantas acuáticas

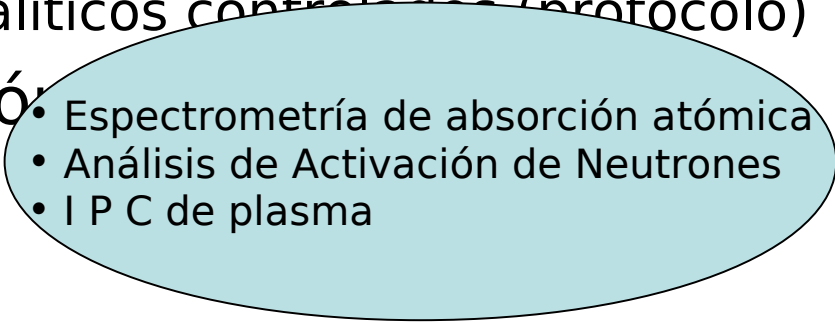
Contaminación aérea
Bioacumulación

Permiten determinar [MP]
de diferentes años según el
crecimiento de anillos xilemático

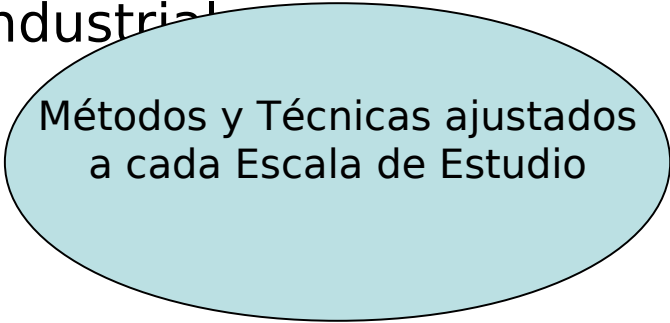
Otras exigencias del Método Experimental

Diseño del Monitoreo

- Análisis de datos
 - Réplicas del ensayo
 - Muestras distintas del mismo individuo (variabilidad intrínseca)
 - Procedimientos analíticos controlados (protocolo)
- Escala de aplicación
 - Regional
 - Urbano
 - Industrial



- Espectrometría de absorción atómica
- Análisis de Activación de Neutrones
- I P C de plasma



Métodos y Técnicas ajustados
a cada Escala de Estudio

Estudio de casos. . .

- En un bosque cercano a una fábrica de Zn en India, no se observó correlación entre el contenido de MP en el aire, el suelo y las plantas Pudo haber efecto de la topografía local y el microclima de la zona (Agrawal et.al, 1988)
- Mapas de Zonación geográfica de 6 MP distintos en Polonia (Dmuchowski, 1995)
- Gradientes de contaminación con Cu, Pb y Fe medidos en Hojas de Quercus ilex mostraron mayores niveles en sitios cercanos a autopistas, menores en centros de ciudad y significativamente menores en las plazas urbanas en Nápoles, Italia, viéndose correlaciones positivas con la deposición aérea (Alfani et al., 1995)
- Distribución de Cu, Ni y Cr en Finlandia usando corteza de Pino con 7 transectas Norte-Sur, encontrando correlaciones Urbano-Rural (Poikolainen, 1997)
- El género Tillandsia fue usado en Costa Rica, como bioindicador de Cu, Pb y Cd debido a que la planta no absorbe por raíces sino por tricomas de la sup. de las hojas. Se demostró significativamente mayor nivel de Pb que los otros MP, y mayor en las hojas externas, comprobando el efecto vehicular (Brighigna, 1997)

Fitorremediación

- Objetivo: Eliminar la contaminación del Ambiente con el uso de Plantas e impedir su extensión.
 - Aéreo (Lirio, Helecho) - movimiento de vientos o llegada de lluvia al suelo.
 - Acuático Sup. y Prof. (Pino, Álamo)
 - Suelo (acción de plantas y organismos -Fijación o Metabolización del tóxico-)
- Algunos contaminantes: MP, exceso de nutrientes, comp. orgánicos, explosivos, hidrocarburos, pesticidas.
- Ventajas y Limitantes:
 - No intrusivo, bajo costo, efectivo, estético.
 - Tratamientos posteriores, peligro de biomagnificación, sólo p/áreaa de la rizoosfera, sólo p/bajos niveles de contaminación.
- Variables:
 - Tipo de suelo y condiciones reinantes. dimensión de la zona contaminada, tipo y cant. de plantas empleadas, tipo y cant de contaminaciones presentes.

Fitorremediación – tratamientos posibles

- Fitoextracción (MP) Captación y Acumulación de Sust. con posterior Incineración, Reciclaje o Deposito de aislamiento.
- Rizofiltración (MP) Cultivo en invernadero por hidroponía; con posterior ubicación en tanques contaminados donde los tóxicos se pegan a las raíces. A medida que se saturan se cortan y eliminan (uso de Girasol en Chernobyl)
- Fitodegradación (enzimas degradantes)
- Bombeo biológico (Álamos; uso de árboles de alta absorción p/que la contaminación llegue a las napas)
- Fitovolatilización (COV disueltos en la solución del suelo y liberados por evapotranspiración)
- Fitoestabilización (existen plantas que frente a alta [MP] y con suficiente tolerancia, pueden inmovilizar por acumulación o precipitación en la zona de la rizosfera – menor biodisponibilidad)

Fitorremediación – Sistemas de aplicación. . .

- Cultivo de bosques de rápido crecimiento en alta densidad, para descontaminación de aguas servidas y fuente de energía p/centrales eléctricas (Sauces) Short Rotation Forest
- Corredores al costado de canales de agua p/evitar que lleguen sedimentos superficiales; evitan erosión del flujo de agua y filtrado de agua subsuperficial. Buffer Strips
- Bosques p/depósito de descargas de producción agrícola y ganadera. Zonas Tampón.

Bioindicadores 2010

Ejercitación – Caso Práctico

1. ¿De qué forma se pueden estudiar los efectos que los contaminantes tienen sobre los seres vivos?
2. Cuando los organismos bioindicadores funcionan como “agentes limpiadores”, ¿cómo definiríamos tal actividad tratándose de plantas y otros organismos?
3. ¿Cómo relacionaría la fisiología del contaminante y el stress del vegetal? Dentro de los efectos fisiológicos de los iones salinos, ¿cómo explicaría los efectos osmóticos, nutritivos y

¿Cómo relacionaría los aspectos de la contaminación sobre la fisiología?

Tratándose de plantas (bioindicadoras), ¿cómo describiría el comportamiento fisiológico de los vegetales respecto de la sal?

¿Cuál es la utilidad de usar plantas metalófitas e hiperacumuladoras; en qué casos se usarían, y qué tipo de noxas estarían usando?

Tratándose de
contaminantes como el
ozono y la lluvia ácida,
¿qué tipo de
bioindicadores utilizaría?

En plantas y su respuesta a la contaminación por metales, ¿qué estarían indicando los índices de tolerancia?